



*В. О. Боровиков¹, О. М. Слуцька¹, Т. М. Скоробагатько¹,
Д. П. Войтович², Р. Ю. Сукач²*

¹Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту
²Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6364-2428> – В. О. Боровиков

<http://orcid.org/0000-0003-1723-8181> – О. М. Слуцька

<http://orcid.org/0000-0001-5651-1975> – Т. М. Скоробагатько

<https://orcid.org/0000-0002-2280-5585> – Д. П. Войтович

<https://orcid.org/0000-0003-4174-9213> – Р. Ю. Сукач

✉ foam2000@gmail.com

РОЗРОБЛЕННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ВІТЧИЗНЯНОЇ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ЩОДО ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ПІНОУТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ НА ПЕРЕХІДНИЙ ПЕРІОД

Проблема. Досвід застосування раніше розроблених національних стандартів, якими встановлено технічні вимоги і методи випробування піноутворювачів загального та спеціального призначення для гасіння пожеж, вказує на високу ймовірність одержання недостовірних даних та низької відтворюваності результатів випробувань з визначення їх фізико-хімічних властивостей та експлуатаційних характеристик. Наслідками цього може бути неналежний рівень протипожежного захисту об'єктів стаціонарними системами пінного пожежогасіння, а також неналежна ефективність піноутворювачів, використовуваних для гасіння пожеж пересувною протипожежною технікою. Це в свою чергу може стати причинами неможливості їх гасіння, збільшення матеріальних збитків аж до повного знищення об'єкта протипожежного захисту, травмування та загибелі людей, а також додаткової шкоди довкіллю.

Мета. Метою роботи було виявлення причин одержання недостовірних даних під час випробування піноутворювачів для гасіння пожеж, а також шляхів підвищення достовірності і відтворюваності результатів їх випробувань з розробленням відповідної нормативної бази.

Методи дослідження. Дослідження передбачали аналіз існуючої нормативної бази та наукових публікацій за напрямками досліджень, а також проведення експериментальних досліджень з визначення показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж за стандартизованими, а також нестандартизованими методиками включно з розробленням таких методик.

Основні результати дослідження. В результаті проведених досліджень виявлено причини одержання недостовірних даних та низької відтворюваності результатів випробувань з визначення ряду показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж та їх робочих розчинів, а також обґрунтовано заходи з їх усунення. Крім того, розроблено нову, а також підтверджено придатність існуючої методики дрібномасштабних випробувань з визначення вогнегасної ефективності повітряно-механічної піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів, для обґрунтування нормативної інтенсивності їх подавання під час гасіння горючих рідин. В рамках апробації цих методик визначено рекомендовану інтенсивність подавання робочих розчинів піноутворювачів під час гасіння біодизельного палива та його сумішей з нафтовим дизельним паливом. Удосконалено існуючі та розроблено нові нормативні документи щодо випробування і застосування піноутворювачів для гасіння пожеж, якими передбачено користуватися до остаточного переходу на європейську нормативну базу.

Висновки. Виявлено причини одержання та запропоновано шляхи усунення недостовірних (хибних) результатів під час визначення окремих фізико-хімічних характеристик піноутворювачів, піноутворювальної здатності їх робочих розчинів, а також її вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності. Завдяки використанню бензину-розчинника для гумової промисловості “Нефрас С-2-80/120” – рідини з більш стабільним, ніж автомобільний бензин, хімічним складом і показниками якості – як пального досягнуто підвищення достовірності результатів визначення вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни як ключових показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж. Ці результати є важливим складником підвищення рівня протипожежного захисту об'єктів стаціонарними системами пінного пожежогасіння, а також ефективності гасіння пожеж пересувною протипожежною технікою.

Ключові слова: випробування, вогнегасна ефективність, горюча рідина, оцінювання якості, піна, піноутворювач, пожежа, показник якості.

DEVELOPMENT AND APPLICATION OF DOMESTIC REGULATORY FRAMEWORK FOR THE ESTIMATION OF QUALITY OF FOAM CONCENTRATES FOR FIRE-FIGHTING FOR THE TRANSITIONAL PERIOD

Introduction. Experience in applying the previously developed national standards to establish technical specifications and testing methods of general and special purpose foam concentrates for fire-fighting indicates a high probability of obtaining unreliable data and low reproducibility of test results for determining their physicochemical properties and operational characteristics. Consequences of this can be an inadequate level of fire protection of facilities by fixed foam systems for firefighting as well as inadequate efficiency of foam concentrates used to fight fires with portable firefighting equipment. This in turn can become the reason for the impossibility of putting them down, an increase in material damage up to the complete destruction of the facility protected from fire, injury and death of people as well as additional damage to the environment.

Purpose. The purpose of the work was to identify the causes of obtaining unreliable results when testing foam concentrates for firefighting as well as ways to raise the reliability and reproducibility of their testing results with the development of an appropriate regulatory framework.

Methods. The research involved analysing the existing regulatory framework and scientific publications by research sphere as well as conducting experimental studies to determine some quality performance of foam concentrates for firefighting by standardised and non-standardised methods, including the development of such methods.

Results. As a result of the research having been conducted, the reasons for obtaining unreliable data and low reproducibility of test results for determining the number of quality performance of foam concentrates for firefighting and their foam solutions were identified, and measures to eliminate them were substantiated. In addition, a new method was developed, and the suitability of the existing small-scale test method for determining the fire extinguishing efficiency of air-mechanical foam generated from the foam solutions of foam concentrates was also confirmed; these are needed to justify their normative application rate during fighting fires involving flammable liquids. As part of the approbation of these methods, the recommended application rate of foam solutions of foam concentrates when extinguishing biodiesel fuel and its mixtures with petroleum diesel fuel has been determined. Appropriate existing regulations have been improved and new ones have been developed regarding the testing and use of foam concentrates for fighting fires; these are expected to be used until the ultimate transition to the European regulatory framework.

Conclusion. Ways to eliminate the causes of obtaining unreliable (erroneous) results during the determination of individual physicochemical characteristics of foam concentrates and the foaming ability of their foam solutions, as well as their fire extinguishing efficiency and insulating ability of the foam, have been identified. Due to the use of solvent gasoline for the rubber industry of “Nephros S-2-80/120” (a liquid with a more stable chemical composition and quality indicators than petrol) as a fuel, an increase in the reliability of the results of determining fire extinguishing efficiency and insulating capacity of the foam as a key performance of foam concentrates for firefighting was achieved. These results are an important component of increasing the level of fire protection of facilities with fixed foam systems for firefighting as well as the efficiency of fighting fires with portable firefighting equipment.

Keywords: testing, firefighting efficiency, flammable liquid, quality assessment, foam, foam concentrate, fire, quality performance.

Постановка проблеми. Використання повітряно-механічної піни, а також змочувальних розчинів піноутворювачів у пожежогасінні впроваджене вже давно, проте під час переходу від піноутворювачів, рецептури яких було розроблено ще за радянських часів, до сучасних і більш ефективних вогнегасних речовин виникли ряд проблем, які потребували розроблення відповідної нормативної бази, яка встановлювала б технічні вимоги до піноутворювачів і методи їх випробувань. В результаті було розроблено та прийнято відповідні національні стандарти [1, 2]. Проте досвід застосування зазначених документів вказав на наявність низки спірних положень. На додаток, після повсюдного переходу на використання у виробництві автомобільного

бензину полярних добавок-антидетонаторів замість тетраетилсвинцю відтворюваність результатів вогневих випробувань, що передбачають використання такого пального, знизилася. Ще однією проблемою стало те, що обсяги виробництва бензину автомобільного марки “А-76” вже на час проведення досліджень швидко скорочувалися. Пізніше виробництво цього палива було припинене повністю, натомість вимоги ряду стандартів щодо його використання як єдиної дозволеної для цього горючої речовини під час випробування низки технічних засобів пожежогасіння і вогнегасних речовин залишалися чинними. Іншими словами, ці нормативні документи стали за фактом такими, реалізувати частину вимог

яких було неможливо, у той час як жодної альтернативи їм не існувало.

Відповідно, виникла необхідність пошуку та обґрунтування шляхів підвищення достовірності та відтворюваності результатів випробувань піноутворювачів для гасіння пожеж. Крім того, висока вартість пального зумовила необхідність обґрунтування можливості використання дрібномасштабних (стендових) методик для контролювання якості піноутворювачів як під час приймально-здавальних випробувань, так і в процесі їх зберігання на об'єктах.

Аналіз досліджень та публікацій

Проаналізувавши міжнародні та європейські стандарти на піноутворювачі для гасіння пожеж [3, 4], а також результати експериментів, проведених після введення в дію національних стандартів [1, 2], ми дійшли висновку про необхідність переглянути перелік нормованих показників якості піноутворювачів. Застосування стандартизованих [5-8] методик розрахунку похибки і невизначеності результатів прямих і непрямих вимірювань показало високу ймовірність одержання недостовірних результатів через недостатню точність засобів вимірювальної техніки. Так, наприклад, було виявлено [9], що результати вогневих випробувань можуть залежати від того, де саме було придбане пальне (бензин автомобільний) для їх проведення; у цьому разі може йтися не лише про результат визначення тривалості гасіння модельного вогнища пожежі класу В, але навіть про саму можливість його гасіння. Стосовно гасіння модельних вогнищ пожежі класу А, то розрахунковим способом встановлено, що довірчі межі похибки результатів визначення показника вогнегасної здатності зіставні із самим цим показником. Також виявлена можливість одержання недостовірних результатів під час визначення фізико-хімічних характеристик (кінематичної в'язкості, водневого показника водних розчинів, їх поверхневого натягу), а також змочувальної та піноутворювальної здатності водних розчинів піноутворювачів.

Заплановане прийняття в Україні європейських стандартів [4], що встановлюють класифікацію піноутворювачів для гасіння пожеж, технічні вимоги до них та методи випробувань, також було пов'язане з низкою труднощів. Так, у країні не налагоджено виробництво сумішей вуглеводнів, які за показниками якості були б придатні для використання як пального згідно з його вимогами, у той час як використання придатного для цього н-гептану невиправдане виходячи з економічних міркувань. Цей факт є, на нашу

думку, одним з недоліків названих європейських норм.

Крім того, слід зазначити, що стандарти, які встановлюють технічні вимоги та методи контролювання якості піноутворювачів, не відповідають на питання про їхню порівняльну ефективність під час гасіння тих чи інших горючих рідин. Європейський стандарт на системи пінного пожежогасіння [10] також містить обмежену інформацію про нормовані параметри подавання робочих розчинів для захисту об'єктів з використанням піноутворювачів різних типів, покладаючи прийняття остаточного рішення на проектувальника системи. У той же час, єдиного підходу до визначення порівняльної ефективності різних піноутворювачів під час гасіння горючих рідин, а також оцінювання впливу на неї зовнішніх чинників, у літературі виявлено не було. Опрацювання матеріалів, наявних у мережі "Internet" (зокрема, каталогів "Scopus"), наприклад, [11-15], а також у реферативних журналах свідчить, що більшість наукових публікацій присвячена вивченню впливу природи поверхнево активних речовин та функціональних добавок на властивості композицій, що дають змогу генерувати повітряно-механічну піну із застосуванням відповідного обладнання, і розробленню рецептур піноутворювачів для гасіння пожеж. Водночас, публікацій, присвячених розробленню та оцінюванню об'єктивності самих методів визначення показників якості піноутворювачів, обмаль.

Система контролювання якості піноутворювачів, яка існувала в Україні на час проведення описуваних досліджень, не відповідала сучасним вимогам і потребувала коригування [9]. Так, окремі методи випробування, застосовувані в теперішній час, було розроблено на основі методів, якими користувалися раніше. На жаль, інформація стосовно їх розроблення, а також обґрунтування методів визначення відповідних показників, якості не збереглися. Відповідно, можна припустити, що критерії успішності випробування могли стосуватися випробувань піноутворювачів "високої якості", що були наявні на ринку раніше (ще навіть до встановлення їх класифікації залежно від хімічної природи та призначення) і які, можливо, було розроблено з розрахунку на використання іншої горючої рідини [16]. Зважаючи на це, удосконалення нормативних документів, які регламентують показники якості, методи їх визначення і порядок контролювання якості піноутворювачів, має передбачати більш чітку

регламентацію відповідних показників якості й удосконалення методів їх визначення, а також виявлення можливих причин виникнення помилок під час випробувань піноутворювачів для гасіння пожеж.

Публікації у науково-технічних виданнях містять неоднозначну, іноді суперечливу інформацію про ефективність піноутворювачів різних типів. Натомість більшість авторів роблять висновки про те, що найбільш ефективними є фторсинтетичні (типу "AFFF") і фторпротеїнові (типу "FFFP") плівкоутворювальні піноутворювачі. Фторсинтетичні піноутворювачі найбільш ефективні на початкових стадіях розвитку пожежі, у той час як фторпротеїнові мають порівняно вищу ефективність у тих випадках, коли рідина або металеві конструкційні матеріали, розташовані в осередку пожежі, встигли сильно нагрітися. Найбільшою мірою на вогнегасну ефективність піни впливають компонентний склад пального (насамперед велика кількість летких вуглеводнів і наявність полярних добавок, у тому числі добавок-антидетонаторів). Є також інформація про те, що послідовне подавання піни, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів цих типів, дає змогу забезпечити більш швидке і надійне гасіння. Загально визнаним є й той факт, що у разі наявності у складі пального значної кількості полярних рідин (у тому числі добавок-антидетонаторів) більш ефективні піноутворювачі, до складу яких входять водорозчинні полімери [9].

Разом з тим, описів експрес-методик визначення вогнегасної ефективності піни низької кратності у доступній літературі обмаль. Деякі літературні дані вказують на доцільність розроблення таких методик. Так, аналіз літературних джерел показав [9], що для оцінювання вогнегасної ефективності піни низької кратності достатньо проводити випробування з визначення тривалості гасіння порівняно невеликих за площею (близько 0,25 м²) вогнищ пожежі. Між результатами гасіння модельних вогнищ пожежі 8В (0,25 м²) і 144В (4,52 м²) спостерігається чітка кореляція. Варто зауважити, що європейські норми [4] передбачають застосування в окремих випадках дрібномасштабних (таких, що потребують використання відносно невеликої кількості горючих рідин) методик вогневих випробувань піноутворювачів, призначених для гасіння горючих рідин піною низької кратності, що збігається з шойно наведеною тезою. Водночас, подібні можливості для піноутворювачів, призначених для їх гасіння

піною середньої та високої кратності, не передбачено.

У публікаціях, проаналізованих у роботі [9], наведено результати досліджень з виявлення впливу показників якості фторсинтетичних плівкоутворювальних піноутворювачів на вогнегасну ефективність піни низької кратності, генерованої з їх робочих розчинів (на жаль, методики її визначення не описано). Автори відповідних робіт вивчали взаємозв'язок між плівкоутворювальними властивостями водних розчинів піноутворювачів (тобто величинами поверхневого, міжфазового натягу і коефіцієнта розтікання), швидкістю розтікання водної плівки поверхнею вуглеводнів (для досліджень використовували н-гептан), кратністю піни та її вогнегасною ефективністю. Разом з тим, одержані результати стосуються тільки одного піноутворювача і окремих рецептур, які складаються з сумішей тільки однієї фторвмісної і тільки однієї вуглеводневої поверхнево активної речовини (ПАР), взятих у різних співвідношеннях, та води. Вони навряд чи можуть бути застосовними для водних розчинів будь-яких фторвмісних ПАР або їх композицій з вуглеводневими ПАР. До того ж, їх було одержано здебільшого під час вивчення поведінки водних плівок на поверхні горючої рідини, яка мала кімнатну температуру. У той же час, хімічний склад водного розчину, який утворюється під час руйнування піни на поверхні нагрітої до високої температури палаючої рідини, може суттєво відрізнятись від хімічного складу робочого розчину піноутворювача. На плівкоутворювальну здатність значною мірою впливає температура пального і водного розчину, за певних температур можлива повна втрата плівкоутворювальної здатності, причому ця температура залежить від природи рідини.

Як вже відзначалося, визначення вогнегасної ефективності піни згідно методиками, описаними у стандартах [1-4], пов'язане зі значними матеріальними витратами. З метою їх зниження доцільно користуватися експрес-методиками визначення вогнегасної ефективності піни. Ці методики можуть бути придатні не тільки для оцінювання вогнегасної ефективності піни низької та середньої кратності, генерованої з робочих розчинів піноутворювачів, але й для визначення нормативної інтенсивності їх подавання у разі гасіння горючих рідин піною низької та середньої кратності. Саме такий підхід реалізовано під час розроблення нової редакції стандарту ДСТУ 3789:2015 на заміну ДСТУ 3789-98, яким керувалися під час розроблення Інструкції [17].

На сьогодні в Європі чинні нормативні документи на піноутворювачі [4] і стаціонарні системи пінного пожежогасіння [10], якими регламентовано номенклатуру показників якості піноутворювачів, методи їх випробування, а також перелік показників якості, за якими необхідно проводити контролювання якості вогнегасних речовин, що зберігаються в резервуарах стаціонарних систем пожежогасіння. Водночас, як відомо, європейські норми – це результат досягнення консенсусу між органами стандартизації усіх країн-членів СЕН, що не дає змоги надати відповіді на ряд питань і, тим більше, врахувати національні особливості нормативної бази, усталеної практики тощо. Саме тому виникла потреба в розробленні вітчизняної нормативної бази з цих питань, яка враховувала б ряд особливостей, специфіку чинних нормативних актів, а також давала змогу реалізовувати окремі альтернативні методи випробування на перехідний період, тобто до моменту вступу України до Європейського Союзу. Зокрема, взято за мету розроблення порядку контролювання якості піноутворювачів, який давав би змогу мінімізувати витрати із збереженням достовірності одержуваних результатів.

Метою роботи, описаної в цій статті, було виявлення причин одержання недостовірних даних під час випробування піноутворювачів для гасіння пожеж, а також шляхів підвищення достовірності і відтворюваності результатів їх випробувань з розробленням відповідної нормативної бази. Для її досягнення вирішувалися такі завдання:

- аналіз літературних даних і нормативних документів щодо методів випробувань, а також ефективності різних типів піноутворювачів для гасіння пожеж;

- експериментальні дослідження впливу особливостей процедур проведення випробувань піноутворювачів для гасіння пожеж на одержані результати та виявлення шляхів їх удосконалення;

- виявлення можливості та умов застосування дрібномасштабних методик оцінювання вогнегасної ефективності пінні замість стандартизованих методик, випробування за якими пов'язані з високими матеріальними витратами;

- вивчення параметрів процесів горіння неполярних горючих рідин та їх взаємодії з піною під час гасіння;

- оцінювання впливу метрологічних характеристик засобів вимірювальної техніки на довірчі межі похибки (невизначеність)

результатів визначення показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж;

- обґрунтування та розроблення пропозицій щодо внесення змін до нормативних документів, якими регламентовані показники якості, методи та порядок випробування піноутворювачів для гасіння пожеж та їх застосування у пожежогасінні та для протипожежного захисту об'єктів, розроблення таких документів;

- апробація методик дрібномасштабних випробувань з визначення вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності пінні оцінюванням придатності, а також визначенням рекомендованих параметрів подавання робочих розчинів піноутворювачів для гасіння піною біодизельного палива та його сумішей з нафтовим дизельним паливом.

Дослідження та випробування проводили за методиками, регламентованими стандартами [1, 2], а також відомими і щойно розробленими методиками дрібномасштабних вогневих випробувань. Під час їх проведення використовували піноутворювачі, надані виробниками, їх робочі розчини, відібрані з резервуарів стаціонарних систем пінного пожежогасіння, а також витратні матеріали, які відповідали вимогам нормативних документів щодо них. Усе випробувальне обладнання було атестоване (каліброване) в установленому порядку, а засоби вимірювальної техніки-повірені. Статистичну обробку результатів здійснювали із застосуванням класичних методів, регламентованих чинними нормативними документами [5-8].

Результати досліджень. В рамках роботи проведено:

- дослідження з визначення потенціометричним методом водневого показника (рН) 1 % водного розчину ряду піноутворювачів загального та спеціального призначення з використанням двох зразків дистильованої води;

- дослідження з визначення показника змочувальної здатності водних розчинів піноутворювачів;

- дослідження з визначення поверхневого натягу робочих розчинів піноутворювачів та міжфазового натягу на межі їх розділу з циклогексаном методом витягування рідких плівок за спрощеною методикою, регламентованою [2], що передбачає використання торсійних ваг замість тензіометра;

- дослідження з визначення тривалості гасіння модельних вогнищ пожежі і критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача під час гасіння ряду неполярних горючих рідин;

– дослідження впливу температури водних розчинів піноутворювачів і повітря на вогнегасну ефективність піни, генерованої з них;

– дослідження параметрів процесів горіння ряду горючих рідин і залежності вогнегасної ефективності піни від цих параметрів та природи піноутворювача;

– дослідження параметрів процесів горіння, а також вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни під час гасіння біодизельного палива та його сумішей з нафтовим дизельним паливом.

В результаті проведеного аналізу раніше отриманих результатів випробувань, а також нормативних документів, що встановлюють вимоги до витратних матеріалів, які використовуються під час їх проведення, виявлено ймовірні причини отримання недостовірних або невідтворюваних результатів у ході випробувань згідно з [1, 2] та обґрунтовано необхідність проведення відповідних експериментальних досліджень.

Зокрема, в результаті дослідження з визначення водневого показника (рН) 1 % водного розчину ряду піноутворювачів загального та спеціального призначення з використанням двох зразків дистильованої води підтверджено припущення [9] (с. 34, 35, 60-62) про те, що водневий показник “нав’язує” сама вода, тобто результат контролювання якості піноутворювача (особливо на основі нейоногенних поверхнево активних речовин) за цим показником може виявитися необ’єктивним. Це наводить на висновок про недоцільність нормування водневого показника 1 % водного розчину піноутворювача, передбаченого [1, 2].

В результаті досліджень з визначення показника змочувальної здатності встановлено [9] (с. 63, 54), що найкращу змочувальну здатність за інших однакових умов мають “вуглеводневі” піноутворювачі, більшість з яких традиційно відносять до піноутворювачів загального призначення. На підставі цих даних можемо говорити про недоцільність використання фторсинтетичних і фторпротеїнових піноутворювачів для приготування змочувальних розчинів і, відповідно, регламентації показника змочувальної здатності їх 2 % водних розчинів. Також встановлено, що належна змочувальна здатність у багатьох випадках досягається за концентрацій, набагато нижчих за 2 %. Отже правильніше було б регламентувати не показник змочувальної здатності 2 % водного розчину, а концентрацію змочувального розчину кожного конкретного піноутворювача загального призначення.

Дослідження з визначення поверхневого натягу робочих розчинів піноутворювачів та міжфазового натягу на межі їх розділу з циклогексаном, проводили за спрощеною методикою, регламентованою [2], що передбачає використання торсійних ваг замість тензіометра. В результаті встановлено [9] (с. 65-67), що належна узгодженість з результатами, одержаними відповідно до вимог міжнародного стандарту [18], є у тому випадку, коли поверхневий натяг не перевищує приблизно 20 мН/м. На підставі цих даних встановлено допустиму сферу застосування методики, регламентованої [2].

Результати досліджень з визначення тривалості гасіння модельних вогнищ пожежі і критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача показали [9] (с. 67-71) їхню кореляцію з результатами, одержаними відповідно до стандартизованої [1] методики. Відповідно, зроблено висновок про доцільність стандартизації методики визначення тривалості гасіння модельних вогнищ пожежі і критичної інтенсивності подавання робочого розчину піноутворювача та її застосування під час приймально-здавальних випробувань і періодичного контролювання якості піноутворювачів, що зберігаються в пожежно-рятувальних підрозділах і на об’єктах.

В результаті досліджень впливу кратності піни, генерованої з робочих розчинів ряду біологічно “м’яких” піноутворювачів загального призначення, на її вогнегасну ефективність, а також дослідження впливу температури водних розчинів і повітря на вогнегасну ефективність піни, генерованої з них, встановлено [9] (с. 71-75), що зниження температури призводить до погіршення піноутворювальної здатності, проте неоднозначно впливає на вогнегасну ефективність піни. Одержані результати дали можливість обґрунтувати методологію визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів, призначених для гасіння пожеж піною низькою та (або) середньої кратності.

Оцінювати вогнегасну ефективність піни низької кратності під час гасіння неполярних (водонерозчинних) і полярних (водорозчинних і водонерозчинних) рідин запропоновано за показниками тривалості гасіння модельних вогнищ пожежі, питомої витрати робочого розчину піноутворювача на гасіння і проміжку часу до повторного запалювання погашеного модельного вогнища пожежі після внесення джерела запалювання. Залежно від поставлених завдань, запропонована методика дає змогу подавати піну “м’яким” способом (з нанесенням

на тверду поверхню, з якої вона спливає на поверхню палаючої рідини) або “жорстким” способом (безпосередньо на поверхню горючої рідини з їх жорстким контактуванням і можливим зануренням піни в рідину), за необхідності регулювати висоту, з якої вона подається, тривалість вільного горіння рідини та інші параметри. Це дає змогу порівняти та оцінити ефективність піноутворювачів та вплив різних параметрів на їх вогнегасну ефективність та ізолювальну здатність.

Також проведено дослідження [9] (с. 84-94) з визначення параметрів процесів горіння модельних вогнищ пожежі у разі використання як пального бензину марки “А-76”, як передбачено [1, 2], товарного н-гептану та бензину-розчинника для гумової промисловості “Нефрас С-2-8/120”. Цей розчинник найбільш близький до пального, зазначеного в [3, 4], за показниками хімічного складу, щільності та вмісту ароматичних вуглеводнів.

Одержані результати свідчать, що теплові режими горіння і швидкість вигорання н-гептану і нафтового розчинника “Нефрас С-2-80/120” мало відрізняються між собою, у той час як під час горіння бензину розвивається більш висока температура і швидкість його вигорання помітно вища. Величина теплового потоку під час горіння перших двох видів пального виявилася близькою, у випадку бензину вона була нижчою, ймовірно, через інтенсивне утворення кіптяви, що поглинає теплове випромінювання.

Гасіння н-гептану та розчинника “Нефрас С-2-80/120” в усіх випадках досягалося протягом приблизно однакових проміжків часу, у той час як у випадку бензину марки “А-76” тривалість гасіння була вищою практично вдвічі [9] (с. 94-111). Аналогічно, проміжки часу до повторного запалювання у разі використання перших двох горючих рідин близькі між собою і різко відрізняються від проміжку часу до повторного запалювання у разі використання автомобільного бензину. Подібні результати було одержано також в ході досліджень з гасіння названих рідин піною середньої кратності, генерованою з робочих розчинів піноутворювачів загального призначення. Таку саму закономірність виявлено і під час гасіння модельних вогнищ пожежі більшої площі (144В у разі піни низької кратності і 55В у разі піни середньої кратності) за умов, регламентованих стандартами [1, 2]. На підставі цих даних зроблено висновок про доцільність використання бензину-розчинника для гумової промисловості “Нефрас С-2-80/120”

як пального під час випробувань піноутворювачів для гасіння пожеж.

Крім того, з використанням методик розрахунку похибки та невизначеності результатів прямих та непрямих вимірювань [5-8] розроблено методики розрахунку названих величин та виявлено основні чинники, що впливають на достовірність одержуваних результатів [9] (с. 114-153). Це дало змогу обґрунтувати необхідність застосування у ряді випадків точніших засобів виміральної техніки. На додаток, застосування існуючих методів статистичної обробки даних показало недоцільність нормування таких показників якості піноутворювача як тривалість гасіння змочувальним розчином модельного вогнища пожежі класу А і показник вогнегасної здатності за класом пожежі А.

Розроблену дрібномасштабну методику оцінювання вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни низької кратності, а також розроблену раніше дрібномасштабну методику оцінювання вогнегасної ефективності піни середньої кратності застосовано для вивчення процесів взаємодії піни з полум'ям під час гасіння біодизельного палива та його сумішей з нафтовим дизельним паливом. Крім того, проводили [19] (с. 61, 62, 89-96) дослідження з визначення параметрів процесів горіння біодизельного палива у порівнянні з дизельним паливом. Встановлено, що масова швидкість вигорання біодизельного палива удвічі менша за аналогічний показник для нафтового дизельного палива. Масова швидкість вигорання біодизельного палива суттєво змінюється залежно від тривалості його горіння і знаходиться в межах від 0,54 кг/(м²·хв) до 1,50 кг/(м²·хв) для дека модельного вогнища 34В. За вмісту 30 % дизельного біопалива у його суміші з нафтовим дизельним паливом (що фактично відповідає його граничному вмісту у традиційно використовуваному моторному паливі) масова швидкість вигорання і температура полум'я знижуються. Під час горіння дизельного біопалива відбуваються явища, характерні для нагрівання і горіння жирів рослинного та тваринного походження, зокрема, гучні потріскування та шипіння.

Встановлено [19] (с. 62-69, 97-101), що критична інтенсивність подавання робочих розчинів піноутворювачів загального призначення майже однакова та досить низька як для традиційного дизельного палива та біодизелю, а також їх сумішей. Також встановлено, що характер взаємодії піни

середньої кратності з полум'ям під час гасіння поверхневим способом нафтового дизельного палива, біодизельного палива, а також їх сумішей суттєво відрізняється. Так, у першому випадку на поверхні рідини відбувається накопичування піни, після чого вона рівномірно розподіляється поверхнею і не руйнується, гасіння модельного вогнища пожежі відбувається завдяки ізоляції речовини, що горить, від доступу кисню. У другому випадку під час подавання піни її накопичення відбувається повільно, частина піни руйнується, розлітаються гарячі краплини рідини за межі дека, а після досягнення речовиною температури кипіння відбувається її скипання та руйнування всієї піни на поверхні. Гасіння модельного вогнища пожежі відбувається переважно завдяки пароутворенню. Водночас, характер взаємодії піни з полум'ям, а також її вогнегасна ефективність під час гасіння досліджених сумішей біодизельного палива з нафтовим дизельним паливом практично не відрізняються від аналогічних характеристик під час гасіння нафтового дизельного палива. Аналогічні закономірності наявні під час гасіння названих горючих рідин піною низької кратності.

Проведені дослідження дали змогу обґрунтувати положення нової редакції стандарту на піноутворювачі загального призначення [20], а також прийняти в Україні стандарти, гармонізовані з європейськими нормами [4], що мають ступінь відповідності "модифікований". Ці стандарти діяли протягом 3 років, що дало можливість налагодити в Україні виробництво ряду піноутворювачів, які відповідають їх вимогам, а також створити відповідну випробувальну базу. На сьогодні в Україні прийнято серію стандартів ДСТУ EN 1568 [21] зі ступенем відповідності "ідентичний". На додаток до них розроблено також нормативний документ [22], що містить додаткові пояснення та визначає більш детально, ніж [10], порядок контролю якості піноутворювачів, які відповідають вимогам [21], що зберігаються в стаціонарних системах пожежогасіння. Актуальність його застосування у перехідний період зумовлено як економічними міркуваннями, так і особливостями вітчизняної нормативної бази щодо протипожежного захисту. Названий нормативний документ передбачає, зокрема, можливість періодичного контролю якості піноутворювачів відповідно до щойно розроблених методик. Порядок періодичного контролювання якості піноутворювачів загального призначення, що відповідають вимогам стандарту [20], визначається тим самим стандартом. На додаток, розроблено

проект стандарту, який регламентує порядок поводження з піноутворювачами, що використовують для гасіння пожеж пересувною протипожежною технікою. Він наразі перебуває на затвердженні.

Застосування методик дрібномасштабних вогневих випробувань з визначення вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни дало змогу підтвердити можливість гасіння біодизельного палива повітряно-механічною піною, а також обґрунтувати параметри її подавання на гасіння. В майбутньому ці результати можна використати у розробленні нормативних документів щодо протипожежного захисту об'єктів виробництва і використання біодизельного палива. Той факт, що вміст біодизельного палива в його суміші з дизельним паливом принаймні до 30 % (що фактично відповідає його гранично допустимому значенню) практично не впливає на показники ефективності піни, дає змогу експлуатувати існуючі стаціонарні системи пінного пожежогасіння об'єктів у разі переходу з традиційного нафтового дизельного палива на його суміші з біодизелем.

Висновки. Таким чином, в результаті проведених досліджень:

1. Виявлено ймовірні причини одержання недостовірних результатів у ході випробувань з визначення показників якості піноутворювачів для гасіння пожеж, а також запобігання їх одержанню. Встановлено, що вони можуть бути пов'язані як з нестабільністю якості таких витратних матеріалів як дистильована вода і пальне, так і з неналежними метрологічними характеристиками випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки.

2. Розроблено дрібномасштабну методику оцінювання вогнегасної ефективності та ізолювальної здатності піни низької кратності під час гасіння горючих рідин, що дає можливість оцінювати вплив способу, параметрів подавання піни та інших чинників на показники її ефективності. Обґрунтовано можливість і доцільність застосування відомої дрібномасштабної методики визначення вогнегасної ефективності піни середньої кратності для контролювання якості піноутворювачів для гасіння пожеж.

3. Досліджено вплив температури водних розчинів та повітря на піноутворювальну здатність водних розчинів і встановлено, що зниження температури призводить до погіршення піноутворювальної здатності, проте неоднозначно впливає на вогнегасну ефективність піни. Це означає, що вогнегасна ефективність піни, генерованої з водних розчинів піноутворювачів, із зниженням температури може як покращуватися,

так і погіршуватися. З огляду на це встановлено необхідність розроблення та обґрунтовано методику визначення температурного діапазону застосування піноутворювачів.

4. Встановлено, що швидкість вигорання, температура полум'я та щільність теплового потоку під час вільного горіння н-гептану і бензину-розчинника для гумової промисловості "Нефрас С-2-80/120" близькі між собою та істотно відрізняються від відповідних параметрів горіння бензину марки "А-76". Науково обґрунтовано можливість використання розчинника "Нефрас С-2-80/120" як пального під час випробувань піноутворювачів, що дає можливість підвищити достовірність і відтворюваність результатів порівняно з випадком використання з цією метою бензину марки "А-76", а також зберегти прийнятну вартість випробувань.

5. Виведено формули для розрахунку довірчих меж похибки та невизначеності результатів вимірювань під час визначення показників якості піноутворювачів, які дають змогу оцінювати впливання характеристик випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки на точність і достовірність одержуваних результатів випробувань. Обґрунтовано можливість підвищення достовірності результатів випробувань з оцінювання ряду показників якості використанням випробувального обладнання та засобів вимірювальної техніки з відповідними характеристиками.

6. Обґрунтовано шляхи вдосконалення національних нормативних документів, якими регламентовані технічні вимоги, методи випробувань, а також порядок застосування та періодичного контролювання якості піноутворювачів загального та спеціального призначення для гасіння пожеж. Зокрема, переглянуто вимоги щодо визначення водневого показника, а також оцінювання змочувальної та піноутворювальної здатності водних розчинів піноутворювачів. Науково обґрунтовано необхідність і запропоновано методику оцінювання впливу температури на вогнегасну ефективність повітряно-механічної піни. Підтверджено можливість застосування методик дрібномасштабних вогневих випробувань для оцінювання ефективності піни, генерованої з водних розчинів піноутворювачів.

7. Виявлено можливість застосування повітряно-механічної піни для гасіння біодизельного палива та його сумішей з нафтовим дизельним паливом. Встановлено, що гасіння біодизельного палива в чистому вигляді відбувається переважно завдяки

пароутворенню, а за вмісту біодизельного палива в суміші з нафтовим дизельним паливом принаймні до 30 % змінювання нормованих параметрів подавання піни у порівнянні з гасінням нафтового дизельного палива не потрібне.

Список літератури:

1. ДСТУ 3789-98 Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробувань.

2. ДСТУ 4041-2001 Піноутворювачі спеціального призначення, що використовуються для гасіння пожеж водонерозчинних і водорозчинних горючих рідин. Загальні технічні вимоги і методи випробувань.

3. ISO 7203:2019 (all parts) Fire extinguishing media – Foam concentrates.

4. EN 1568-1:2018 (all parts) Fire extinguishing media – Foam concentrates.

5. ДСТУ ГОСТ 8.207:2008 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Прямі вимірювання з багатократними спостереженнями. Методи оброблення результатів спостережень. Основні положення.

6. МИ 1552-86 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Вимірювання прямі однократні. Оцінювання похибок результатів вимірювань. Методичні вказівки.

7. МИ 2083-90 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Вимірювання непрямі. Визначення результатів вимірювань та оцінювання їх похибок. Рекомендації.

8. РМГ 43-2001 Державна система забезпечення єдності вимірювань. Рекомендації щодо міждержавної стандартизації. Застосування "Настанови щодо подання невизначеності вимірювань".

9. Слущка О.М. Удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02 / Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2019. 212 с.

10. EN 13565-2:2009 Fixed firefighting systems – Foam systems – Part 2: Design, construction and maintenance.

11. Xiaoyang Yu, Ning Jiang, Xuyang Miao, Fan Li, Jiyun Wang, Ruowen Zong, Chouxiamg Lu. Comparative studies on foam stability, oil-film interaction and fire extinguishing performance for fluorine-free and fluorinated foams // Process Safety and Environmental Protection, 2020, v. 133, pp. 201-215.

12. Youjie Sheng, Ning Jiang, Shouxiang Lu, Changhai Li. Fluorinated and fluorine-free firefighting foams spread on heptane surface // Colloids and Surfaces A:

Physiochemical and Engineering Aspects, 2019, v. 552, pp. 1-8.

13. Katherine M.Hinnant, Michael W. Conroy, Ramagopal Anath. Influence of fuel on foam degradation for fluorinated and fluorine-free foams // *Colloids and Surfaces A: Physiochemical and Engineering Aspects*, 2017, v. 522, pp. 1-17.

14. Timm Rapsilber, Simone Kruger. Design fires with mixed-material burning cribs to determine the extinguishing effects of compressed air foams // *Fire Safety Journal*, 2019, v. 98, pp. 3-14.

15. Wenjie Pan, Mingguang Zhang, Xuyang Gao, Sifan Mo. Establishment of Aqueous Film Forming Foam extinguishing agent minimum supply intensity model based on experimental method // *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 2020, v. 63, 103997.

16. Persson H., Robert M., Amon F. ENANKFIRE – Fire extinguishing tests of ethanol tank fires in reduced scale, SP Swedish National Testing and Research Institutes, SP Report 2016:56, Boras, Sweden.

17. Інструкція про порядок застосування і випробування піноутворювачів для пожежогасіння: затв. наказом МНС України від 24.11.2008 №851.

18. ISO 304-1985 Surface active agents – Determination of surface tension by drawing up liquid films.

19. Скоробогатько Т.М. Удосконалення систем забезпечення пожежної безпеки об'єктів виробництва та застосування біодизельного палива: дис. ... канд. техн. наук: 21.06.02 / Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2020. 151 с.

20. ДСТУ 3789:2015 Пожежна безпека. Піноутворювачі загального призначення для гасіння пожеж. Загальні технічні вимоги і методи випробування.

21. ДСТУ EN 1568:2018 (EN 1568-1:2018, IDT) (усі частини) Вогнегасні речовини. Піноутворювачі.

22. ДСТУ 8615:2016 Пожежна безпека. Піноутворювачі для гасіння пожеж. Настанови щодо поводження з вогнегасними речовинами, використовуваними у стаціонарних системах пінного пожежогасіння.

References:

1. DSTU 3789-98 Foam concentrates for general use for fire-fighting – General technical requirements and test methods.

2. DSTU 4041-2001 Special purpose foam concentrates used for fighting fires involving water-immiscible and water-miscible liquids – General technical requirements and test methods.

3. ISO 7203:2019 (all parts) Fire extinguishing media – Foam concentrates.

4. EN 1568:2018 (all parts) Fire extinguishing media – Foam concentrates.

5. DSTU GOST 8.207:2008 The state system for ensuring the unity of measurements – Direct measurements with multiple observations – Methods of processing the results of observations – Principal provisions.

6. MI 1552-86 The state system of ensuring the unity of measurements – Direct one-time measurements – Evaluation of errors of measurement results – Methodical instructions.

7. MI 2083-90 The state system of ensuring the unity of measurements – Indirect measurements – Determination of measurement results and estimation of their errors – Recommendations.

8. RMG 43-2001 The state system of ensuring the unity of measurements – Recommendations on interstate standardization – Application of the “Guidelines for Presentation of Measurement Uncertainty”.

9. Slutska O.M. Improvement of the system of assessment of quality of foam concentrates for firefighting: Diss. ... Cand. of Sc. (Eng.): 21.06.02. Lviv, 2019. – 212 p.

10. EN13565-2:2009 Fixed firefighting systems – Foam systems – Part 2: Design, construction and maintenance.

11. Xiaoyang Yu, Ning Jiang, Xuyang Miao, Fan Li, Jiyun Wang, Ruowen Zong, Chouxiamg Lu. Comparative studies on foam stability, oil-film interaction and fire extinguishing performance for fluorine-free and fluorinated foams // *Process Safety and Environmental Protection*, 2020, v. 133, pp. 201-215.

12. Youjie Sheng, Ning Jiang, Shouxiang Lu, Changhai Li. Fluorinated and fluorine-free firefighting foams spread on heptane surface // *Colloids and Surfaces A: Physiochemical and Engineering Aspects*, 2019, v. 552, pp. 1-8.

13. Katherine M.Hinnant, Michael W. Conroy, Ramagopal Anath. Influence of fuel on foam degradation for fluorinated and fluorine-free foams // *Colloids and Surfaces A: Physiochemical and Engineering Aspects*, 2017, v. 522, pp. 1-17.

14. Timm Rapsilber, Simone Kruger. Design fires with mixed-material burning cribs to determine the extinguishing effects of compressed air foams // *Fire Safety Journal*, 2019, v. 98, pp. 3-14.

15. Wenjie Pan, Mingguang Zhang, Xuyang Gao, Sifan Mo. Establishment of Aqueous Film Forming Foam extinguishing agent minimum supply intensity model based on experimental method //

Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2020, v. 63, 103997.

16. Persson H., Bobert M., Amon F. ENANKFIRE – Fire extinguishing tests of ethanol tank fires in reduced scale, SP Swedish National Testing and Research Institutes, SP Report 2016:56, Boras, Sweden.

17. Instruction on the procedure for the use and testing of foam concentrates for fire-fighting, approved by the order of the MOE of Ukraine of 24.11.2008 No. 851.

18. ISO 304-1985 Surface active agents – Determination of surface tension by drawing up liquid films.

19. Skorobahatko T.M. Improvement of the systems of fire safety of the facilities for biodiesel fuel manufacture and application: Diss. ... Cand. of Sc. (Eng.): 21.06.02. Lviv, 2020. – 151 p.

20. 20. DSTU 3789:2015 Fire safety – Foam concentrates for general use for fire-fighting – General technical requirements and test methods.

21. 21. DSTU EN 1568:2018 (EN 1568:2018, IDT) (all parts) Fire extinguishing agents – Foam concentrates.

22. 22. DSTU 8615:2016 Fire safety – Foam concentrates for fire-fighting – Guidelines for handling fire extinguishing agents used in fixed fire-fighting systems.

© В. О. Боровиков, О. М. Слуцька,
Т. М. Скоробагатько, Д. П. Войтович,
Р. Ю. Сукач, 2023.

Оглядова.

Надійшла до редакції 23.03.2023.

Прийнято до публікації 16.05.2023.